System Engineering and Productivity/ 2025/ Vol.4/ No.4/ 13-29

System Engineering and Productivity

DOI: 10.22034/msb.2024.2026208.1201

Valuation of Outsourcing Projects Using Real Options (Case Study: Mashhad Water and Wastewater Company)

Hamidreza Koosha [1], Soroush Safarzadeh [2*]

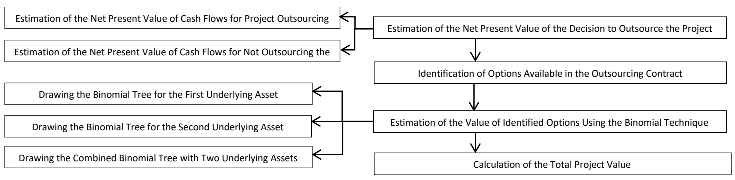
[1] Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

[2] Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Science, Quchan University of Technology, Quchan, Iran

HIGHLIGHTS

- Outsourcing flexibility is analyzed using real options and NPV approaches.
- Real options add value by addressing uncertainties and embedded contract options.
- Increased cash flow variability impacts option value.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 10 September 2024

Received in revised form: 19 October 2024

Accepted: 21 October 2024

Available online: 21 October 2024

*Correspondence:

s.safarzadeh@qiet.ac.ir

How to cite this article:

Koosha, H., & Safarzadeh, S. (2025). Valuation of outsourcing projects using real options (case study: Mashhad water and wastewater company). *System Engineering and Productivity*, 4(4), 13-29.

Keywords:

Outsourcing

Valuation

Uncertainty

Real Options

Net Present Value

ABSTRACT

Today, organizations are obliged to use flexible structures and take advantage of external sources and, in fact, outsource to exploit the opportunities. An outsourcing contract should handle the contractual uncertainties and provide the organization with flexibility in choosing various options under various conditions. The real options approach is one of the available methods to gain these conditions. In this study, valuing a water loss reduction outsourcing project by using real options is carried out with a mathematical modeling method and is compared to the NPV method. First, the net value of the outsourcing decision is obtained by comparing the two scenarios of outsourcing and non-outsourcing. Then, the abandonment option within the outsourcing contract is detected. A binomial approach with two underlying assets is applied for valuing the option. Finally, the estimation of the total project value is done by adding the option value to the net value of the outsourcing decision. Also, for the first time, identification of the contract-embedded real options and their valuation under specific conditions are analyzed. The findings indicate that with a change in cash flow, the risk-free interest rate, and the option exercise price, the value of the option oscillates, rises, and falls, respectively. It is, therefore, recommended based on the findings that real options hidden in contracts should be subjected to analyses in project evaluations for better outcomes.

Publisher: University of Eyvanekey

مهندسی سیستم و بهره‌وری/ سال ۱۴۰۳/ دوره ۴/ شماره ۴/ صفحه ۱۳-۲۹

نشریه مهندسی سیستم و بهره‌وری

DOI: 10.22034/msb.2024.2026208.1201

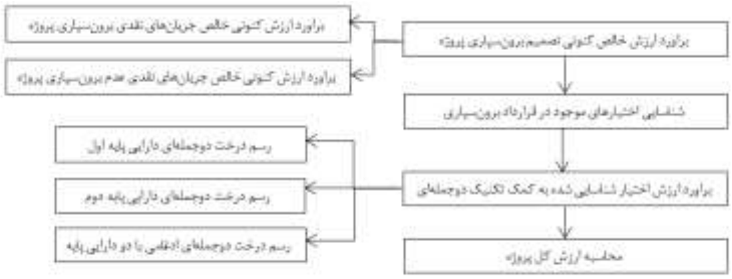
ارزش‌گذاری پروژه‌های برون‌سپاری با استفاده از اختیارهای حقیقی (مطالعه موردی: شرکت آب و فاضلاب مشهد)

حمیدرضا کوشا [۱]، **سروش صفرزاده** [۲*]

[۱] دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

[۲] استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده علوم مهندسی، دانشگاه صنعتی قوچان، قوچان، ایران

چکیده گرافیکی



برجسته‌ها

- انعطاف‌پذیری در برون‌سپاری با استفاده از رویکرد اختیارهای حقیقی و NPV تحلیل‌شده است.
- اختیارهای حقیقی با مدیریت عدم‌قطعیت‌ها و شناسایی اختیارهای موجود، ارزش‌افزوده ایجاد می‌کند.
- افزایش تغییرپذیری جریان نقدی بر ارزش اختیار مؤثر است.

چکیده

امروزه سازمان‌ها برای استفاده از فرصت‌ها، ناگزیر به ایجاد ساختاری منعطف، بهره‌مندی از امکانات بیرون سازمانی و به عبارتی برون‌سپاری هستند. یک قرارداد برون‌سپاری باید بتواند عدم قطعیت‌های قرارداد را مدیریت کند و برای شرکت انعطاف‌پذیری در انتخاب گزینه‌های مختلف در شرایط گوناگون را فراهم کند؛ رویکرد اختیارهای حقیقی به‌عنوان یکی از گزینه‌های در دسترس این شرایط را فراهم می‌کند. در این پژوهش با استفاده از رویکرد مدل‌سازی ریاضی، به ارزش‌گذاری پروژه برون‌سپاری کاهش هدررفت آب به کمک اختیارهای حقیقی و مقایسه آن با رویکرد ارزش کنونی خالص پرداخته‌شده است. به‌طوری‌که ابتدا ارزش خالص تصمیم برون‌سپاری را با مقایسه دو حالت برون‌سپاری و عدم برون‌سپاری به دست آورده و سپس، اختیار ترک موجود در قرارداد برون‌سپاری را شناسایی گردیده است. برای ارزش‌گذاری اختیار از تکنیک دوجمله‌ای با دو دارایی پایه استفاده‌شده و درنهایت برای برآورد ارزش کل پروژه، ارزش اختیار به ارزش خالص تصمیم برون‌سپاری افزوده‌شده است. همچنین برای اولین بار، شناسایی اختیارهای متن قرارداد برون‌سپاری و ارزش‌گذاری اختیارهای اخذشده در شرایط خاص موردبررسی و تحلیل قرارگرفته است. نتایج حاکی است که با افزایش تغییرپذیری جریان‌های نقدی، نرخ بهره بدون ریسک و قیمت اعمال اختیار، ارزش اختیار به ترتیب، نوسان می‌کند، افزایش و کاهش می‌یابد. با توجه به یافته‌ها پیشنهاد می‌شود در تحلیل پروژه‌ها، اختیارهای حقیقی موجود در قراردادها نیز مورد تحلیل قرار گیرد تا امکان بهبود خروجی‌ها فراهم گردد.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰

بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۲۸

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰

ارائه برخط: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰

*نویسنده مسئول:

s.safarzadeh@qiet.ac.ir

کلیدواژه‌ها:

برون‌سپاری

ارزش‌گذاری

عدم قطعیت

اختیارهای حقیقی

ارزش کنونی خالص

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر برون‌سپاری به‌عنوان یکی از رویکردهای توسعه سازمان‌ها و ارتقای بهره‌وری در قالب کوچک‌سازی موردتوجه مدیران سازمان‌ها قرارگرفته است. با توجه به رشد بخش خدمات (Tabrizi & Shayeste, 2011)، برون‌سپاری فعالیت‌ها در سازمان‌های دولتی موردتوجه واقع‌شده و در اولویت‌های کاری سازمان‌ها قرارگرفته است. در این خصوص، تحقیقات بسیاری بر برون‌سپاری تولید تمرکز کرده‌اند، اما امروزه توجه به سمت برون‌سپاری فرایندهای خدماتی تغییر جهت داده است (Ellram et al., 2008; Hutzschenreuter et al., 2011).

برای بیان تعریفی جامع از برون‌سپاری، باید تمامی جنبه‌های برون‌سپاری و انواع گوناگون آن مورد تشریح قرار گیرد. یک تعریف از برون‌سپاری بدین‌صورت است: «برون‌سپاری شکلی از قرارداد خارجی از پیش تعیین‌شده با موسسه دیگری برای تولید کالا یا خدمات که قبلاً داخل شرکت ارائه می‌شده است» (Rajabzadeh et al., 2008). در این خصوص، بر اساس آمار از ۹۰ درصد شرکت‌ها حداقل یکی از فعالیت‌های خود را برون‌سپاری می‌کنند و بر اساس آخرین گزارش‌ها حدود ۳۰ درصد آن‌ها پس از دو سال از برون‌سپاری خود ابراز نارضایتی کرده‌اند (Tabrizi & Shayeste, 2011). تحلیل نامناسب اثرات و نتایج اقتصادی و عدم توجه به جنبه منفعت و هزینه طرح‌های برون‌سپاری، می‌تواند یکی از دلایل نارضایتی سازمان‌ها باشد. از مهم‌ترین دلایل شکست پروژه‌های برون‌سپاری، عدم به‌کارگیری فنون و روش‌های مدیریت و ارزیابی ریسک است (Amani, 2004). نیمی از تمام شکست‌ها در قراردادهای برون‌سپاری به دلیل آن است که شرکت‌ها ریسک‌های این پروژه‌ها را با تحلیل نامناسب اداره می‌کنند.

اولین هدف برون‌سپاری صرفه‌جویی در هزینه می‌باشد. تصمیم برون‌سپاری می‌تواند عامل مهمی در سودآوری بشمار رود و لذا سهم مهمی در سلامت مالی شرکت دارد (Olfat & Barati, 2007). بنابراین، برای جلوگیری از بروز ضرر و زیان در قراردادهای برون‌سپاری باید ارزش پروژه برون‌سپاری برآورد شده و مطابق آن، تصمیم صحیح در خصوص برون‌سپاری یا عدم برون‌سپاری اخذ گردد. بر این اساس، نیاز به رویکردی مناسب در برآورد ارزش پروژه برون‌سپاری و ارزش‌گذاری آن‌ها داریم.

به‌طور خلاصه یک قرارداد برون‌سپاری باید به‌گونه‌ای تنظیم شود که بتواند تمام عدم قطعیت‌های موجود در قرارداد را مدیریت کند و برای شرکت انعطاف‌پذیری‌ای ایجاد کند که بتواند گزینه‌های مختلف را با توجه به تغییر شرایط و موقعیت‌ها انتخاب کند (Mersin & Polat, 2013). این انعطاف‌پذیری برای سازمان مزایای رقابتی ایجاد می‌کند و درنتیجه اگر سازمان‌ها بخواهند از طریق انعطاف‌پذیری به منفعت دست یابند، به این مسئله که چگونه انعطاف‌پذیری ارزیابی شود، باید پرداخت (Cheng & Lee, 2007). در این خصوص، رویکرد اختیارهای حقیقی[1] رویکردی است که با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت موجود در پروژه‌ها به ارزش‌گذاری آن می‌پردازد. رویکرد اختیارهای حقیقی نه‌تنها قادر به واردکردن ارزش انعطاف‌پذیری و فرصت‌های رشد است، بلکه همچنین راهبردهای رقابتی در یک محیط غیرقطعی را وارد محاسبات می‌کند (Smit & Trigeorgis, 2004). یک اختیار حق و نه اجبار، برای انجام یک عمل در آینده است. اختیارهای حقیقی، اختیارها بر دارایی‌های حقیقی[2]هستند، که به‌طور ساده می‌تواند، به‌عنوان فرصت‌های پاسخ مدیریت به شرایط در حال تغییر یک پروژه (تصمیمات و اختیارهای مدیریت) تعریف شود (Yeo & Qiu, 2003).

این پژوهش در قالب ارزش‌گذاری یک پروژه برون‌سپاری خدمات، مربوط به شرکت آب و فاضلاب مشهد، با عنوان طرح کاهش هدررفت آب تعریف‌شده است. درواقع، تحلیلی اقتصادی از اقدام برون‌سپاری شرکت وجود دارد تا این موضوع بررسی گردد که برون‌سپاری طرح مذکور برای شرکت ارزشمند می‌باشد یا خیر. در تحلیل پروژه ذکر این نکته ضروری است که این پروژه نسبتاً بلندمدت محسوب می‌گردد؛ بنابراین، عدم قطعیت بالایی در جریان‌های نقدی آینده آن وجود دارد و علاوه بر این شرکت آب و فاضلاب به‌عنوان کارفرما، در طول پروژه انعطاف‌پذیری‌هایی دارد که دارای ارزش می‌باشند و در نظر گرفتن آن‌ها در تحلیل پروژه تأثیر بسزایی خواهد داشت. بنابراین، برای ارزش‌گذاری پروژه از رویکرد اختیارهای حقیقی بهره

[1] Real Options

[2] Real Assets

می‌بریم. بر این اساس، نوآوری‌های کار پژوهشی حاضر به شرح زیر قابل‌بیان است:

- شناسایی اختیارهای متن قرارداد برون‌سپاری و ارزش‌گذاری اختیارهای اخذشده در شرایط خاص با استفاده از تکنیک دوجمله‌ای
- مقایسه و تحلیل نتایج حاصل از مدل‌سازی با رویکرد ارزش کنونی خالص تحت دو سناریوی برون‌سپاری و عدم برون‌سپاری
- بررسی کارکرد مدل‌سازی پیشنهادی بر اساس یک مطالعه موردی از شرکت آب و فاضلاب مشهد در خصوص رویکرد اختیارهای حقیقی برای تحلیل اقتصادی پروژه‌ها
- نمایش تحلیل میزان افزایش ارزش اختیار با افزایش نرخ بهره بدون ریسک و میزان کاهش آن با افزایش قیمت اعمال بر اساس میزان نوسان تغییرپذیری جریان‌های نقدی

در ادامه مروری بر پیشینه موضوع گردیده و سپس، برای آشنایی بیش‌تر با مفهوم اختیارهای حقیقی و نحوه محاسبه ارزش یک اختیار اخذشده، به تعریف آن پرداخته می‌شود. بعد از آشنایی با مفهوم اختیارهای حقیقی، تکنیک دوجمله‌ای با دو دارایی پایه معرفی‌شده و مدل‌سازی پروژه ارائه می‌گردد. در بخش بعد، یافته‌ها و بحث در مورد آن‌ها مطرح می‌شود. همچنین، بررسی اثر تغییرپذیری جریان‌های نقدی، نرخ بهره بدون ریسک، قیمت اعمال اختیار و ضریب همبستگی بر ارزش اختیار در بخش تحلیل حساسیت انجام می‌گردد. در بخش پایانی نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی ارائه می‌شود.

۲- مرور ادبیات

در این قسمت ادبیات تحقیق در زمینه‌های مرتبط با مسئله تشریح می‌گردد. این بررسی‌ها در راستای شناسایی شکاف تحقیقاتی و تعریف مسئله در این پژوهش بکار گرفته‌شده است.

۲-۱- برون‌سپاری و ابعاد آن

تصمیم برون‌سپاری در برخی موارد به‌عنوان یک اختیار حقیقی برای سازمان در نظر گرفته‌شده است. نمبهارد و همکاران (Nembhard et al., 2003)، برون‌سپاری را به‌عنوان یک اختیار در نظر گرفته‌اند که تحت تأثیر سه عامل عدم‌قطعیت می‌باشد. دو عامل هزینه تحویل یک واحد کالا و قیمت برون‌سپاری یک واحد کالا مؤثر بر هزینه برون‌سپاری، و عامل هزینه تولید یک واحد کالا مؤثر بر هزینه تولید در داخل می‌باشند. در این پژوهش، این دو هزینه با یکدیگر مقایسه شده و ارزش اختیار طی بازه زمانی مجاز برای تصمیم‌گیری برآورد گردیده است که درنهایت از طریق این ارزش‌گذاری تصمیم‌گیری صورت گرفته است. داتا اظهار کرده است که در معاملات برون‌سپاری که عدم قطعیت آن بالا است، شرکت می‌تواند از طریق اتخاذ رویکرد اختیار حقیقی در تصمیم‌گیری برون‌سپاری، سود ببرد (Datta, 2005). از سوی دیگر، هوی-یون و مین-، به تحلیل ارزش برون‌سپاری تولید یک محصول تحت اثر عوامل هزینه، قیمت محصول و تقاضای بازار بر برون‌سپاری تولید محصول پرداختند. درنهایت، در این کار، یک مدل زمان گسسته در محیط پویا برای ارزش‌یابی اختیارها طراحی و ارائه‌شده است (Hui-yun & Min-li, 2006).

در بین ادبیات مواردی مشاهده می‌شود که روی زمان مناسب برای برون‌سپاری تمرکز کرده و در مواردی از اختیار برای محاسبه انتظار صورت گرفته برای رسیدن زمان مناسب بهره گرفته‌اند. در این راستا، الوارز و استنبک در مقاله خود روی زمان انجام برون‌سپاری تصمیم‌گیری کرده‌اند. آن‌ها دریافتند که زمان بهینه برون‌سپاری یک تابع افزایشی از عدم‌قطعیت بازار اساسی است (Alvarez & Stenbacka, 2007). بنارچ و همکاران (Benaroch et al., 2012)، به ایجاد یک دنباله از مدل‌هایی پرداختند که تغییرات و عدم قطعیت حجم معاملات در طول زمان، هزینه‌های متغیر و ثابت درون‌سپاری (تولید در داخل سازمان) و برون‌سپاری، هزینه تعویض به برون‌سپاری و هزینه بازگرداندن یک فرایند خدماتی برون‌سپاری شده به داخل سازمان را ترکیب و سپس این مدل‌ها را تحلیل کردند. اخیراً، ژانگ و همکاران نیز تأثیرات شرایط بازار بر انتخاب قرارداد و زمان‌بندی برون‌سپاری سیستم اطلاعاتی را بررسی کرده‌اند (Zhang et al., 2023). در این پژوهش، از رویکرد اختیارهای حقیقی برای توسعه چندین مدل تحلیلی برای بررسی تصمیم‌گیری برای سیستم اطلاعات برون‌سپاری استفاده‌شده است. نتایج تحقیق، نشان می‌دهد که عدم تقارن اطلاعات، عدم قطعیت نیاز، ساختار هزینه و

رقابت فروشنده تأثیرات مهمی بر کاهش هزینه مشتری، ارزش گزینه برون‌سپاری و احتمال برون‌سپاری دارند.

جیانگ و همکاران (Jiang et al., 2008) با تحلیل ارزش انتظار تأمین‌کننده، برون‌سپاری را از جانب تأمین‌کننده بررسی کرده‌اند. این مدل دیدگاه‌های جدیدی درباره ارزیابی فرصت‌های برون‌سپاری تأمین‌کننده به ثمر می‌گذارد و راهنمای عملی مهمی برای تصمیم‌گیری تأمین‌کنندگان ارائه می‌دهد. مون (Moon, 2010)، با پیشنهاد یک مدل اختیار حقیقی، زمان بهینه برای برون‌سپاری را ارائه داد. بر این اساس، راهبرد تعیین زمان سرمایه‌گذاری، هزینه‌های پنهان شرکت در مرحله آمادگی برای برون‌سپاری و بخشی که برون‌سپاری می‌شود را در نظر می‌گیرد (Moon, 2010). انتلو و برو (Antelo & Bru, 2010)، نقش برون‌سپاری هنگامی‌که یک شرکت اقدام به تعیین سطح واقعی هزینه‌های تولید خود در یک فضای غیرقطعی می‌کند را آزمودند. نتیجه کار نشان داد که برون‌سپاری می‌تواند اطلاعات اضافی برای شرکت درباره اثربخشی ساختار سازمانی خود، فراهم کند. جریان اطلاعاتی که برون‌سپاری به شرکت ارائه می‌دهد، یک اختیار حقیقی از طریق به تأخیر انداختن تصمیم نهایی مربوط به حالت سازمانی قطعی شرکت به وجود می‌آورد. بنابراین، برون‌سپاری موقتی و سپس از سر گرفتن عملیات، ممکن است تصمیم مدیریتی بهینه برای شرکت باشد.

مواردی در ادبیات نیز وجود دارد که اختیارهای متنوعی را در بحث برون‌سپاری تعریف کرده و یا جنبه‌های دیگر را در نظر گرفته‌اند. چنگ و لی (Cheng & Lee, 2007)، استفاده از رویکردی ادغامی از اختیارهای حقیقی فازی، اختیار حقیقی فازی وزن‌دار و فضای تصمیم فازی را برای حل مسئله پیشنهاد کردند. آن‌ها همچنین معتقدند که رویکرد پیشنهادی یک ابزار انعطاف‌پذیر برای مدیران به‌منظور مدیریت عامل‌های عدم‌قطعیت در سرمایه‌گذاری‌های برون‌سپاری برای افزایش سود سهام‌داران می‌باشد. لی و وانگ (Li & Wang, 2010) معتقدند که شرکت‌هایی که استراتژی‌های برون‌سپاری خارج از کشور را به کار می‌گیرند، ممکن است با عدم‌قطعیت‌های تقاضا و نرخ معامله مواجه شود و نشان می‌دهند که شرکت می‌تواند از اختیار عملکردی برای تعویض محصول با حفظ ظرفیت‌های تأمین‌کنندگان خارجی و بومی سود ببرد. در این رابطه آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ارزش اختیار عملکردی با افزایش عدم‌قطعیت تقاضا یا نرخ معامله افزایش می‌یابد. مرسین و پولت (Mersin & Polat, 2013)، در پژوهشی نوآورانه، روشی بر پایه اختیارهای حقیقی برای مدل کردن و ارزیابی انعطاف‌پذیری‌ها در قراردادهای برون‌سپاری ارائه داده‌اند. اثرات این انعطاف‌پذیری‌ها بر هزینه کل پروژه و انتخاب تأمین‌کننده خدمت، با استفاده از مدل پیشنهادی و از طریق شبیه‌سازی محاسبه‌شده است. مون و همکاران (Moon et al., 2011) در مقاله خود، برون‌سپاری را از دید تأمین‌کننده تحلیل کرده‌اند. یافته‌ها حاکی از این است که شرکت تأمین‌کننده از اختیار انتظار برای بررسی اینکه باید یک قرارداد برون‌سپاری با مشتری خود امضا کند یا باید سرمایه‌گذاری مشترک انجام دهد، استفاده می‌کند. کوتلا (Kutlu, 2012) اختیار حقیقی را با اقتصادهای هزینه معامله ادغام کرد. مدل ارائه‌شده، برای تجزیه‌وتحلیل قراردادهای آینده، با در نظر گرفتن خواص خاص معامله، اختصاصی بودن دارایی، عدم‌قطعیت و تناوب معامله، ارائه‌شده است. چوی و همکاران (Choi et al., 2021)، با بررسی نقش مؤثر محدودیت‌های مالی و انعطاف‌پذیری عملیاتی بر احتمال و ارزش بازار برون‌سپاری نشان دادن که هر چه محدودیت‌های مالی شرکت قبل از برون‌سپاری بیشتر باشد، احتمال برون‌سپاری بیشتر است. آن‌ها همچنین دریافتند که اثر محدودیت‌های مالی بر روی خروجی کار بیشتر از انعطاف‌پذیری عملیاتی در این مسئله است.

۲-۲- اختیارهای حقیقی

در محیط کسب‌وکار به‌شدت ناپایدار و رقابتی حال حاضر (Smit & Trigeorgis, 2004)، افقی که بر روی آن جریان‌های نقدی می‌توانند با اطمینان تخمین زده شوند، کوچک می‌شود. این مسئله برای شرکت‌ها این الزام را ایجاد می‌کند که در برنامه‌های سرمایه‌گذاری خود منعطف‌تر باشند. انعطاف‌پذیری مدیریتی، توانایی اثرگذاری بر جریان‌های نقدی غیرقطعی مربوط به پروژه است به‌نحوی‌که بازده‌های مورد انتظار را افزایش یا ضررهای مورد انتظار را کاهش دهد. انعطاف‌پذیری‌های معمول پروژه شامل اختیار برای توسعه[1]در پاسخ به شرایط مثبت بازار،

[1] Expansion Option

یا رهاسازی[1]یک پروژه با اجرای ضعیف، می‌باشد. مدیریت همچنین ممکن است اختیار به تعویق‌اندازی[2] سرمایه‌گذاری برای یک دوره زمانی، تعلیق موقتی عملیات،[3] تعویض ورودی‌ها یا خروجی‌ها[4] و کاهش اندازه[5] داشته باشد. تمام این فرصت‌ها اختیارهایی را بر دارایی‌های حقیقی نشان می‌دهد که به مدیریت اجازه می‌دهد تا ارزش پروژه را افزایش دهد؛ بنابراین، این اختیارها، اختیارهای حقیقی نامیده می‌شوند (Brandão & Dyer, 2005).

اختیارهای حقیقی روشی برای ارزش‌یابی پروژه برحسب منافع آینده فراهم می‌کنند. اختیارهای حقیقی همچنینی می‌توانند به‌عنوان ابزاری برای ارزش‌یابی پروژه‌های در حال اجرا استفاده شود. اختیارهای حقیقی به دو حالت اروپایی و آمریکایی تقسیم می‌شود. اختیار اروپایی فقط در تاریخ سررسید قابلیت اعمال دارد. درحالی‌که اختیار آمریکایی، در هر زمانی قبل از تاریخ سررسید یا در تاریخ سررسید قابل‌اعمال است (Hull, 2023). در این زمینه، گاوو و دریوچی (Gao & Driouchi, 2018)، ضمن بررسی نقش ابهام و اعتماد در برون‌سپاری جزئی با استفاده از اختیارهای حقیقی، به این نتیجه رسیدند که مقدار جزئی برون‌سپاری با ابهام برای قراردادهای صرفه‌جویی در هزینه افزایش می‌یابد. علاوه بر این، در این تحقیق مشخص شد که هنگامی‌که مزایای هزینه اغراق‌آمیز باشد، تأثیرات اعتماد و کمیت با ابهام تعدیل می‌شود.

۳-۲- تکنیک‌های ارزش‌گذاری اختیار

برای برآورد ارزش اختیار روش‌های مختلفی ارائه‌شده است. اولین مدل، تکنیک بلک و شولز[6]می‌باشد که در سال ۱۹۷۳ ارائه‌شده است (Black & Scholes, 2019). چون این مدل تنها برای برآورد ارزش اختیار اروپایی کاربرد دارد و همچنین به دلیل فرم پیچیده‌ای که دارد، امروزه کم‌تر بکار برده می‌شود. بویلی در سال ۱۹۷۷ روش شبیه‌سازی مونت-کارلو را برای تخمین ارزش اختیارها در زمان اعمال آن‌ها بکار برد (Boyle, 1977). مدل گسکی[7]برای برآورد ارزش اختیارهای مرکب که کار برده می‌شود (Geske, 2019). اختیار مرکب اختیاری است که وابسته به اختیار دیگری می‌باشند و در ارتباط به آن قابل‌بررسی و ارزش‌گذاری است (Mun, 2003).

علاوه بر تکنیک‌های معرفی‌شده، در مرور پیشینه موضوع، مشاهده می‌شود که برخی پژوهش‌گران از معادله حرکت براونی هندسی[8]برای برآورد ارزش اختیار استفاده کرده‌اند. این معادله پایه مدل‌های دیگر می‌باشد. در ادامه برای جمع‌بندی پیشینه، جدول **۱** تنظیم‌شده است.

۳- روش‌شناسی

۳-۱- فروض و مفاهیم

در پژوهش حاضر از مدل دوجمله‌ای[9]برای برآورد ارزش بهره برده شده است. این روش اولین بار توسط کاکس و همکاران در سال ۱۹۷۹ ابداع شد (Cox et al., 1979). دلیل انتخاب این روش، حل قابل‌درک آن، مرسوم‌تر بودن روش در برآورد ارزش نسبت به روش‌های دیگر و همچنین وجود دو دارایی پایه[10]می‌باشد که تنها تکنیک دوجمله‌ای برای حل در این شرایط ارائه‌شده است.

در مبحث اختیارهای مالی، دارایی پایه، ارزش آن چیزی است که در بازار معامله می‌شود (مانند سهام، ارزهای خارجی و قراردادهای آتی) (Hull, 2023). کپلند و انتیکارو ثابت کردند که در مورد اختیارهای حقیقی، ارزش کنونی خالص[11](NPV) پروژه بدون ارزش اختیارها و بدون جریان‌های نقدی اولیه، بهترین برآوردکننده ارزش بازار[12] (MV) پروژه است و می‌تواند به‌عنوان دارایی پایه در نظر گرفته شود (Copeland et al., 2001)؛ بنابراین، دارایی پایه اول ارزش بازار تصمیم برون‌سپاری در سال صفر و دارایی پایه دوم ارزش دلیل اخذ اختیار ترک می‌باشد. برای برآورد ارزش، این دو درخت به‌طور هم‌زمان تحلیل می‌شوند.

در مدل دوجمله‌ای از یک درخت برای نمایش وضعیت دارایی پایه در سال‌های آتی بهره گرفته می‌شود. در درخت دوجمله‌ای هر نقطه تصمیم‌گیری که دربرگیرنده یک وضعیت است، با یک گره نشان داده‌شده و مسیرهایی که

[1] Abandon Option
[2] Defer Option
[3] Temporarily Shut Down Option
[4] Switch Inputs or Outputs Option
[5] Terminate Option
[6] Black & Scholes
[7] Geske Model
[8] Geometric Brownian Motion
[9] Binomial Tree
[10] Underlying Asset
[11] Net Present Value
[12] Market Value

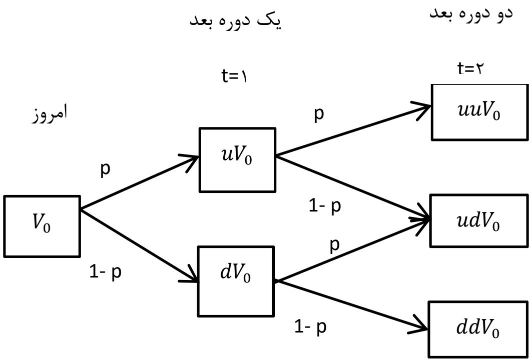
این گره‌ها را به هم متصل می‌نمایند، نشان‌دهنده حالت‌های ممکنی است که این وضعیت‌ها می‌توانند به وقوع بپیوندند. با توجه به اینکه مدل دوجمله‌ای مبتنی بر دو حالت کلی است، لذا فرض می‌شود که وضعیت فعالیت‌های اقتصادی بالقوه می‌تواند بهتر و یا بدتر شوند. بر این اساس، احتمال بهتر شدن وضعیت و یا به‌عبارت‌دیگر افزایش ارزش موردنظر به uV_0، (u > ۱) را برای یک دوره بعد p و احتمال بدتر شدن آن یا کاهش ارزش مزبور به dV_0، (d < ۱) را p- ۱ در نظر می‌گیریم. هرچند چارچوب فوق ساده به نظر می‌رسد، با افزایش تعداد سطوح برای دوره‌های آتی می‌توان به‌خوبی شرایط واقعی را مدل نمود (Zekavat, 2009). شکل **(۱)** مطالب گفته‌شده را در قالب درخت دوجمله‌ای نشان می‌دهد.

در درخت دوجمله‌ای V_0 مقدار دارایی پایه می‌باشد. در این پژوهش همان‌طور که پیش‌تر گفتیم دو دارایی پایه داریم. دارایی پایه اول ارزش خالص تصمیم برون‌سپاری در سال صفر و دارایی پایه دوم ارزش دلیل اخذ اختیار ترک می‌باشد. درواقع در این پژوهش اخذ اختیار ترک با دلیل و در شرایط خاص اتفاق می‌افتد. ارزش دلیل اخذ اختیار (هزینه به وجود آمده به دلیل قصور در حفظ و آمادگی پروژه برای بهره‌برداری) در طول پروژه نوسان خواهد داشت و ممکن است افزایش یا کاهش یابد. طبق مفروضات توزیع دوجمله‌ای بالا و پایین رفتن ارزش از فرمول (۱) و (۲) پیروی می‌کنند:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \qquad (۱)$$

$$d = \frac{1}{u} = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} \qquad \left(\Delta t = \frac{t}{n}\right) \qquad (۲)$$

که در آن n، برابر تعداد گام‌های درخت دوجمله‌ای و σ تغییرپذیری دارایی پایه می‌باشد.



شکل (۱): درخت دوجمله‌ای با یک دارایی پایه.

جدول (۱): خلاصه مهم‌ترین تحقیقات انجام مرتبط با موضوع

نویسندگان	اختیار تعریف شده	تکنیک حل	نکات اصلی و یافته‌ها
هویان و مین لی	برون‌سپاری	شبیه‌سازی	ارایه مدل زمان گسسته در محیط پویا
آلوارز و استنبک	زمان برون‌سپاری	حرکت براونی هندسی	محاسبه آستانه بهینه برای برپایی برون‌سپاری بعنوان یک تابع افزایشی از عدم‌قطعیت بازار
چنگ و لی	اختیار حقیقی فازی	بلک و شولز	بهینه‌سازی برون‌سپاری یک صورت تابعی از نوسان عدم قطعیت بازار اساسی، مزایای هزینه‌های فرعی وابسته به برون‌سپاری و هزینه‌های سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای حمایت از برون‌سپاری
ژیانگ و همکاران	انتظار	حرکت براونی هندسی	انجام یک مطالعه تجربی برای بدست آوردن قیمت فروش بهینه با رویکرد ترکیبی از اختیار حقیقی فازی، اختیار حقیقی فازی وزن‌دار و فضای تصمیم فازی
مون	انتظار	حرکت براونی هندسی	ارایه عوامل عدم‌قطعیت در برون‌سپاری محصول
لی و وانگ	انتخاب	حرکت براونی هندسی	ارایه بینش‌های جدید درباره ارزیابی فرصت‌های برون‌سپاری کارپرداز و راهنمای عملی مهمی برای تصمیم‌گیری کارپردازان
آنتلو و برو	به تاخیراندازی	دوجمله‌ای	ارایه زمان بهینه برون‌سپاری
مون و همکاران	انتظار	حرکت براونی هندسی	پیشنهاد استفاده از شرکت‌های بهره‌ور برای برون‌سپاری
کوتلا	ـ	بلک و شولز	اثبات اینکه برون‌سپاری فوری همیشه بهینه نیست.
بناروچ و همکاران	تعویض	حرکت براونی هندسی	معرفی فرامرزسپاری
مرسین و پُلات	گسترش، ترک و تعویض	شبیه‌سازی	در نظر گرفتن نگرش ریسک‌گریز و ریسک‌خنثی برای شرکت

حال با استفاده از مقادیر u و d که برای هر درخت به‌طور مجزا محاسبه می‌شود، درخت‌های دوجمله‌ای تا تاریخ سررسید اختیار، پیش می‌روند. برای محاسبه ارزش اختیار، باید دو درخت را به‌طور هم‌زمان تحلیل نمود. اگر فرض شود در لحظه‌ای از زمان، دارایی پایه اول نوسان رو به بالا خواهد داشت، نمی‌توان به‌طورقطع انتظار داشت که دارایی پایه دوم نیز افزایش خواهد یافت و یا برعکس؛ درنتیجه درخت ترکیبی به‌صورت یک هرم به شکل (**۲**) خواهد بود؛ یعنی حالتی که هر گره در دوره t به چهار گره در دوره t+۱ مربوط می‌شود؛ پس تعداد گره‌های هر دوره $(t+۱)^۲$ خواهد بود.

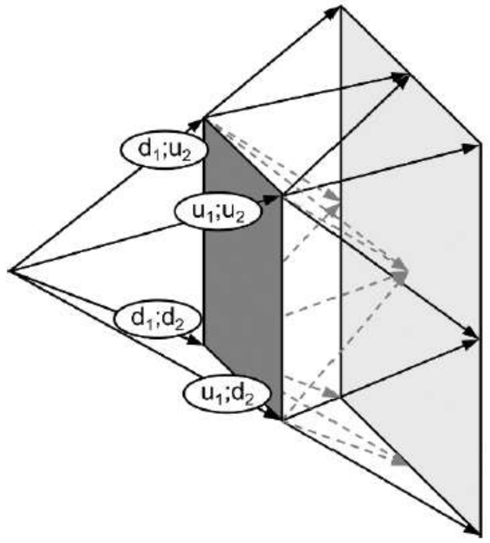
در این خصوص، برای محاسبه ارزش اختیار از گره‌های انتهایی درخت ترکیبی شروع می‌شود. مقدار گره‌های آخر درخت ترکیبی به‌صورت معادله (۳) محاسبه می‌گردد.

$$f(T) = max[0, V(T) - I] \qquad (۳)$$

که در اینجا، I مقدار سرمایه‌گذاری لازم برای اعمال اختیار (قیمت اعمال اختیار) است. در رابطه (۳)، مقادیر گره‌های دوره آخر درخت ترکیبی با V(T) نمایش داده می‌شود که از ترکیب مقادیر گره‌های دوره آخر دو درخت دوجمله‌ای حاصل می‌شود. پس از تعیین مقادیر گره‌های آخر، از یک رابطه بازگشتی برای محاسبه گره‌های ماقبل بهره می‌گیریم. این رابطه بازگشتی طبق معادله (۴) اعمال می‌شود و تا رسیدن به دوره صفر ادامه می‌یابد. این رابطه برای اختیار اروپایی ارائه‌شده است (Brosch, 2008).

$$f(t,(n,n)) = [(e^{-\mu\Delta t}) \times (f(t+1,(up_1,up_2)) \times p_1 + f(t+1,(up_1,down_2)) \times p_2 + f(t+1,(down_1,up_2)) \times p_3 + f(t+1,(down_1,down_2)) \times p_4)] \qquad (۴)$$

رابطه ۴ نشان می‌دهد که مقدار هر گره t ماقبل آخر به چهار گره از دوره بعد خود وابسته است. مقادیر p_n در این رابطه را بویلی و همکاران در سال ۱۹۸۹ برآورد کرده‌اند و مقادیر از روابط ۵ تا ۸ به دست می‌آید (Boyle et al., 1989). در این روابط علامت $\rho_{1,2}$ و علامت بین دو رابطه داخل پرانتز تعیین‌کننده تفاوت بین مقادیر p_n می‌باشد. همچنین مقدار $\rho_{1,2}$، ضریب همبستگی بین دو دارایی پایه است که از رابطه (۹) قابل برآورد است. مقدار μ نرخ بهره بدون ریسک می‌باشد. همچنین، σ_1 و σ_2 به ترتیب تغییرپذیری دارایی پایه اول و دارایی پایه دوم می‌باشند.



شکل (۲): شبکه درخت دوجمله‌ای ترکیبی برای دو دارایی پایه [۳۷].

$$p_1 = \frac{1}{4}\left[1+\rho_{1,2} + \sqrt{\Delta t}\left(\frac{\mu - \frac{1}{2}\sigma_1^2}{\sigma_1} + \frac{\mu - \frac{1}{2}\sigma_2^2}{\sigma_2}\right)\right] \qquad (۵)$$

$$p_2 = \frac{1}{4}\left[1-\rho_{1,2} + \sqrt{\Delta t}\left(\frac{\mu - \frac{1}{2}\sigma_1^2}{\sigma_1} - \frac{\mu - \frac{1}{2}\sigma_2^2}{\sigma_2}\right)\right] \qquad (۶)$$

$$p_3 = \frac{1}{4}\left[1-\rho_{1,2} + \sqrt{\Delta t}\left(-\frac{\mu - \frac{1}{2}\sigma_1^2}{\sigma_1} + \frac{\mu - \frac{1}{2}\sigma_2^2}{\sigma_2}\right)\right] \qquad (۷)$$

$$p_4 = \frac{1}{4}\left[1+\rho_{1,2} + \sqrt{\Delta t}\left(-\frac{\mu - \frac{1}{2}\sigma_1^2}{\sigma_1} - \frac{\mu - \frac{1}{2}\sigma_2^2}{\sigma_2}\right)\right] \qquad (۸)$$

$$\rho_{1,2} = \frac{cov_{1,2}}{\sigma_1 \times \sigma_2} \qquad (۹)$$

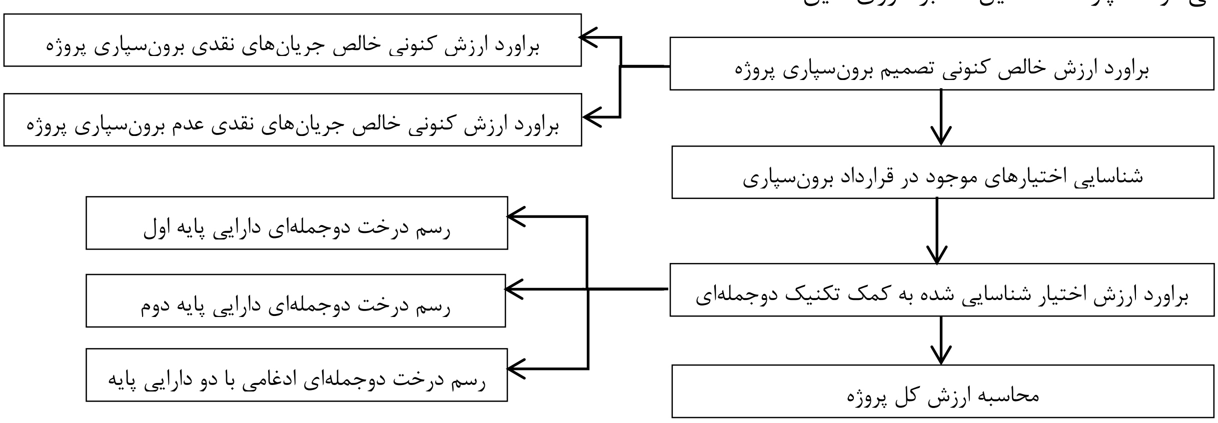
۳-۲- مدل‌سازی مسئله

همان‌طور که در بخش اول نیز اشاره شد، در این مقاله، یک پروژه برون‌سپاری که شرکت آب و فاضلاب (آبفا) مشهد در دست اجرا دارد، بررسی و مدل‌سازی شده است. تحت این پروژه قرار است هدررفت پهنه I_1 شهر مشهد کاهش یابد. این پروژه قرار است طی هفت سال انجام شود و طی آن مجموع اقدامات و خدماتی که شرکت در رابطه با این پهنه انجام می‌دهد، به شرکت سرمایه‌گذار سپرده می‌شود. شرکت از رویکرد ساخت- بهره‌برداری- واگذاری ($B.O.T$)[1] برای این پروژه استفاده کرده است. شرکت سرمایه‌گذار موظف است بستر مناسب برای اجرای اقدامات برعهده‌گرفته را در پهنه ایجاد کرده، از این بستر بهره‌برداری نموده و در انتهای دوره آن را به کارفرما (شرکت آبفا) واگذار کند. آبفای مشهد در نظر دارد، ضمن واگذاری مجموعه اقدامات، کل هدررفت تخمینی که در این پهنه اتفاق می‌افتد را نیز، به میزان یک‌سوم کاهش دهد و در انتهای دوره هفت‌ساله و تحویل گرفتن پهنه از سرمایه‌گذار، این کاهش هدررفت حفظ شود. شکل نحوه فرایند گام‌به‌گام مدل‌سازی را نمایش می‌دهد.

در مدل حاضر ابتدا از تکنیک (NPV) ارزش کنونی خالص تصمیم برون‌سپاری را بدون اختیارهای موجود در قرارداد، برآورد می‌شود. ازآنجاکه هدف ما تصمیم برای برون‌سپاری یا عدم برون‌سپاری از دید شرکت آب و فاضلاب است، ابتدا نیاز به محاسبه ارزش کنونی خالص جریان‌های نقدی این دو حالت وجود دارد و سپس، ارزش کنونی حالت عدم برون‌سپاری از ارزش کنونی حالت برون‌سپاری کسر می‌شود، چراکه تحلیل‌ها بر روی این اختلاف که صرفه‌جویی هزینه با اعمال برون‌سپاری را نشان می‌دهد، صورت می‌گیرد. برای محاسبه ارزش کنونی خالص از فرمول (۱۰) استفاده می‌گردد.

$$NPV = \sum_{t=1}^{T} \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \qquad (۱۰)$$

دو پارامتر مهم که در این رابطه باید مشخص باشند، یکی r یا نرخ تنزیل و دیگری t یا تعداد فواصل زمانی است. نرخ تنزیل در این پژوهش میانگین موزون هزینه سرمایه شرکت آبفا می‌باشد. این همان نرخی است که انتظار می‌رود شرکت به‌طور متوسط به تمام دارندگان سهام خود برای تأمین مالی دارایی‌های خودپرداخت کند. مقدار این نرخ برای شرکت آبفا طبق نظر مدیر پروژه نرخ بهره بانکی می‌باشد. در این پروژه این نرخ ۲۰ درصد به‌صورت سالیانه انتخاب‌شده است. پارامتر دوم، t یا تعداد فواصل زمانی است که هر یک از جریان‌های نقدی در آن اتفاق افتاده‌اند. مشخص کردن این پارامتر بر روی محاسبات تأثیر مستقیمی دارد، زیرا نرخ تنزیل سالیانه، با توجه به آن باید کوچک شود و این امر بر روی مقدار ارزش نهایی مؤثر است. این روابط با عنوان نرخ‌های اسمی و مؤثر شناخته می‌شوند. نرخی که با تقسیم‌بر تعداد فواصل زمانی در سال به دست می‌آید، نرخ مؤثر نامیده شده و در محاسبات استفاده می‌شود (Oskonejad, 1999). سپس، قرارداد برون‌سپاری بررسی‌شده و اختیارهایی که برای کارفرما در طول پروژه وجود دارد شناسایی می‌گردد. اختیارهای موجود در قرارداد برای شرکت آب و فاضلاب، با مطالعه شرایط عمومی و خصوصی پیمان استخراج‌شده است.



شکل (۳): فرایند گام‌به‌گام مدل‌سازی.

[1] Build-Operate-Transfer

شرکت آبفا با توجه به شرایط مختلف می‌تواند اختیاری را اخذ کند تا از ضرر مالی، آسیب‌های زیست‌محیطی، شکایات مشترکین و غیره جلوگیری کند.

اختیار شناسایی‌شده و قابل‌اعمال در پروژه موجود، اختیار ترک به دلیل قصور در حفظ و آمادگی پروژه برای بهره‌برداری می‌باشد که تنها در زمان سررسید قابل‌اعمال است؛ تاریخ سررسید این اختیار طبق نظر مدیر پروژه انتهای سال دوم است. درواقع بعد از بررسی عملکرد سرمایه‌گذار در انتهای سال دوم، اگر حفظ پروژه در سطحی کمتر از ۷۰ درصد کل اقدامات باشد، شرکت آبفا می‌تواند قرارداد را فسخ کند و تا قبل از بررسی کلی در انتهای سال دوم امکان اعمال این اختیار وجود ندارد؛ درنتیجه اختیاری از نوع اروپایی می‌باشد. مدیر پروژه مدعی است که درصورتی‌که سرمایه‌گذار در دو سال اول پروژه که احتمال مواجه‌شدن با کمبود بودجه را دارد، عملکرد مناسبی داشته باشد و پروژه را در سطح مطلوب برای بهره‌برداری نگه دارد، در پنج سال انتهایی پروژه که فشار پروژه کمتر است و بخش مهمی از فعالیت‌ها اجراشده است، می‌توان به عملکرد صحیح سرمایه‌گذار اطمینان داشت.

ازآنجاکه با فسخ قرارداد، شرکت مسئولیت انجام اقدامات مربوط به پهنه را خود به عهده خواهد گرفت، در لحظه فسخ هزینه‌های اولیه‌ای را محتمل می‌شود. این هزینه‌ها شامل هزینه تحویل کار از پیمان‌کار، هزینه جذب نیروی انسانی، تهیه تجهیزات و ماشین‌آلات و غیره می‌باشد. این هزینه‌ها به‌عنوان قیمت اعمال اختیار شناخته می‌شوند و با I نمایش داده می‌شوند. درنتیجه رابطه (۱۱) زمان مناسب برای اعمال اختیار را نشان می‌دهد.

$$MV_{t_{\text{برون‌سپاری}}} + \text{هزینه ناشی از قصور در حفظ و آمادگی پروژه} < I + MV_{t_{\text{عدم برون‌سپاری}}} \qquad (۱۱)$$

جدول **۲** لیست هزینه‌ها و درآمدهای طرح، مؤثر بر ارزش تصمیم برون‌سپاری را در دو حالت برون‌سپاری و عدم برون‌سپاری نشان می‌دهد. در انتهای جدول مقدار $\Delta NPV_{\text{تصمیم برون‌سپاری}}$ با کسر NPV عدم برون‌سپاری از NPV برون‌سپاری برآورد شده است.

در گام بعد نیاز به‌رسم دو درخت دوجمله‌ای مربوط به دارایی‌های پایه به‌طور مجزا داریم. نقطه شروع دو درخت دوجمله‌ای، زمانی است که شرکت پی به قصور سرمایه‌گذار

رابطه فوق به این معنی است که اگر در لحظه اعمال اختیار ترک (t)، ارزش مجموع هزینه ناشی از قصور در حفظ و آمادگی و مقدار ارزش بازاری اجرا توسط پیمان‌کار (ارزش کنونی خالص بدون سرمایه‌گذاری اولیه)، از ارزش مجموع قیمت اعمال اختیار و ارزش بازاری اجرا توسط شرکت آبفا کم‌تر باشد، به‌صرفه است که از اختیار ترک استفاده‌شده و قرارداد فسخ گردد. رابطه (۱۱) را می‌توان به‌صورت رابطه (۱۲) نوشت.

$$\Delta MV_t + \text{هزینه ناشی از قصور در حفظ و آمادگی پروژه} < I \qquad (۱۲)$$

ΔMV_t همان مقدار ΔNPV محاسبه‌شده و ارزش تصمیم برون‌سپاری بدون جریان‌های نقدی اولیه است و t نشان‌دهنده زمان اعمال اختیار خواهد بود. با توجه به اینکه ΔMV_t و نیز هزینه‌های ناشی از قصور در حفظ و آمادگی پروژه در طول طرح نوسان خواهند داشت و نوسان هرکدام مستقل از دیگری می‌باشد، هرکدام به‌عنوان یک دارایی پایه مجزا در نظر گرفته‌شده و بنابراین دو درخت دوجمله‌ای مجزا وجود خواهد داشت. این دو درخت باید به‌طور هم‌زمان تحلیل شوند که درخت ادغامی و نحوه محاسبه ارزش اختیار به کمک این درخت در بخش تکنیک ارزش‌گذاری اختیار توضیح داده شد. درنهایت مجموع ارزش کنونی خالص تصمیم برون‌سپاری و ارزش اختیارهای شناسایی‌شده، ارزش پروژه برون‌سپاری را نشان می‌دهد.

۴- نتایج و یافته‌ها

ابتدا جریان‌های نقدی دو حالت برون‌سپاری و عدم برون‌سپاری را برای محاسبه ارزش کنونی خالص تصمیم برون‌سپاری، شناسایی کردیم.

در حفظ و آمادگی پروژه برای بهره‌برداری ببرد. ازآنجاکه سرمایه‌گذار هر سه ماه یک بار گزارش خود را به شرکت تحویل می‌دهد و نظارت جامع اجرای طرح از سوی شرکت نیز هر سه ماه انجام می‌شود، شروع درخت را از ابتدای ماه چهارم در نظر می‌گیریم و ارزش آینده مقدار دو دارایی پایه باید برآورد شود. روابط (۱۳) و (۱۴) این برآورد را نمایش می‌دهد. این دو درخت تا تاریخ سررسید اختیار یعنی تا انتهای سال دوم رشد می‌کند.

جدول ۲: نتایج محاسبه ارزش کنونی خالص

	جریان‌های نقدی	t	نرخ مؤثر	NPV (واحد پولی)
حالت برون‌سپاری	درامد حاصل از جرائم دریافتی از سرمایه‌گذار	جریمه‌های سرمایه‌گذار طبق قرارداد در انتهای هر سال از صورت‌حساب او کسر می‌شود.	۰/۲	۱۱۰/۸۶
	هزینه ناشی از پرداخت‌های کاهش هدررفت	این پرداخت‌ها طبق قرارداد در انتهای هرسال بعد از دریافت گزارش عملکرد صورت می‌گیرد. ذکر این مطلب ضروری است که سه سال اول به‌صورت پیش‌پرداخت، اتفاق افتاده است.	۰/۲	-۵۲۵/۵۷
	هزینه پیش‌خرید دوران ساخت	این مقدار سرمایه‌گذاری اولیه طرح در حالت برون‌سپاری می‌باشد.	_	-۲۵۴/۷۶
	پرداخت‌های تضمین‌شده از محل فروش انشعابات	۷۰ درصد پرداخت‌های هر سال طبق قرارداد، هر سه ماه پرداخت‌شده و ۳۰ درصد باقی‌مانده در انتهای هر سال صورت می‌گیرد.	۰/۲÷۴	-۸۰۴/۱۵
	هزینه کمیته بهره‌برداری	این هزینه به‌صورت حقوق ماهیانه می‌باشد.	۰/۲÷۱۲	-۷۳/۵۶
حالت	هزینه انجام اقدامات و خدمات مربوط به پهنه	همان‌طور که در معرفی این هزینه اشاره شد، هزینه این بخش در ابتدای هر سال به‌عنوان سرمایه‌گذاری اولیه اعمال می‌شود.	۰/۲	-۶۳۱/۱،۳۱
نتیجه	$\Delta NPV_{\text{تصمیم برون‌سپاری}} = \sum NPV_{\text{جریان‌های نقدی برون‌سپاری}} - \sum NPV_{\text{جریان‌های نقدی عدم برون‌سپاری}} =$ $\left(۸۶/۱۱۰ + (-۵۷۰/۵۲۵ - ۷۶۰/۲۵۴ - ۱۴۸/۸۰۴ - ۵۵۶/۷۳)\right) - (-۱،۳۱۵/۶۳۱) =$ واحد پولی ۱۴/۸۴			

$$V_{0_1} = F_1 = P_1(1+i) = -۴۸۵/۷ \times \left(۱ + \frac{۲/۰}{۴}\right) = -۸۵۹/۷ \text{ واحد پولی} \qquad (۱۳)$$

$$V_{0_2} = F_2 = P_2(1+i) = -۰۵۷/۲۰ \text{ واحد پولی} \qquad (۱۴)$$

برای رسم درخت دوجمله‌ای اول که مربوط به ΔMV می‌باشد، نیاز به مقادیر u و d داریم. طبق روابط (۱۵) و (۲) برای محاسبه این دو ابتدا نیاز به مقادیر σ و Δt داریم. تغییرپذیری یا σ در اختیارهای حقیقی، معیاری برای اندازه‌گیری عدم اطمینان در مورد جریان‌های نقدی آینده طرح می‌باشد. تغییرپذیری برای شرکت‌های قدیمی و با سابقه معمولاً بین ۲۰ تا ۴۰ درصد می‌باشد و برای شرکت‌های جدید معمولاً ۴۰ تا ۷۰ درصد می‌باشد (Hull, 2023). در این مقاله، با توجه به این‌که شرکت آب و فاضلاب یک شرکت با سابقه است، نوسان‌پذیری مقدار میانگین ۳۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. همچنین، چون تغییر این پارامتر بر روی ارزش اختیار اثر مستقیمی دارد، در بخش تحلیل حساسیت به تحلیل تأثیر تغییر بر مقدار ارزش اختیار پرداخته می‌شود.

Δt عکس تعداد دوره‌ها در هر سال می‌باشد؛ ازآنجاکه σ به‌صورت سالیانه برآورد می‌شود، باید بررسی شود در سال باید به چه تعداد تقسیم شود. تعداد دوره‌ها را در یک سال چهار در نظر گرفته می‌شود به‌طوری‌که Δt مقدار ۰/۲۵ به خود می‌گیرد. این مطلب به این معنی است که دوره‌ها به‌صورت سه‌ماهه در نظر گرفته‌شده است (در اینجا چون از ابتدای ماه چهارم درخت را شروع کرده‌ایم به‌جای هشت دوره، هفت دوره داریم).

برای اینکه در برآورد ارزش اختیار، به نتایج دقیق و معقولی برسیم، تعداد دوره‌های درخت دوجمله‌ای باید بهینه‌سازی شود. هرچه تعداد دوره‌ها بیش‌تر باشد برآورد دقیق‌تری از ارزش اختیار خواهیم داشت (Mun, 2002). بنابراین، در اینجا بر اساس ادبیات موضوع، ابتدا با تعداد دوره‌های محدود، تکنیک دوجمله‌ای با دو دارایی پایه را برای برآورد ارزش اختیار ارائه‌شده و سپس با استفاده از نموداری که

تغییر ارزش اختیار را برحسب افزایش تعداد دوره‌ها نشان می‌دهد، تعداد دوره‌های بهینه و درنتیجه مقدار ارزش اختیار قابل‌قبول محاسبه می‌گردد (Arnold et al., 2022; Gartner, 2022; Tian et al., 2023). در نمودار مذکور نقطه‌ای که بعدازآن مقدار ارزش اختیار تقریباً ثابت می‌شود، تعداد بهینه دوره‌ها و ارزش اختیار قابل‌قبول را نمایش می‌دهد. با مشخص شدن مقدار σ و Δt، مقدار عددی u طبق فرمول (۱)، ۱/۱۶ و d طبق فرمول (۲)، ۰/۸۶ برای درخت دوجمله‌ای اول به دست می‌آید.

درخت دوجمله‌ای دوم مربوط به هزینه‌های به وجود آمده به دلیل قصور سرمایه‌گذار در حفظ و آمادگی پروژه برای بهره‌برداری می‌باشد. مقدار σ برای این درخت طبق نوسانی که توسط مدیر پروژه برای هزینه به وجود آمده، تخمین زده‌شده است، برابر با ۱۴ درصد است. بنابراین مقادیر u و d به ترتیب برابر ۱/۰۷ و ۰/۹۳ می‌باشد. مقادیر دوره آخر (دوره هفتم) درخت دوم مطابق جدول می‌باشد.

جدول (۳): مقادیر دوره آخر درخت‌های دوجمله‌ای

مقادیر دوره آخر از بالا به پایین	درخت دوجمله‌ای اول	درخت دوجمله‌ای دوم
۱	-۲۲/۴۶۱	-۳۲/۷۳۹
۲	-۱۶/۶۳۹	-۲۸/۴۶۲
۳	-۱۲/۳۲۶	-۲۴/۷۴۴
۴	-۹/۱۳۱	-۲۱/۵۱۱
۵	-۶/۷۶۴	-۱۸/۷۰۱
۶	-۵/۰۱۱	-۱۶/۲۵۸
۷	-۳/۷۱۲	-۱۴/۱۳۴
۸	-۲/۷۵	-۱۲/۲۸۷

بعد از رسم دو درخت دوجمله‌ای برای برآورد ارزش، همان‌طور که در بخش معرفی تکنیک ذکر شد، نیاز به تحلیل هم‌زمان آن‌ها وجود دارد. برای به دست آوردن درخت تصمیم ادغامی، از لایه آمادگی باید آغاز شود. مقادیر لایه آخر (لایه هفتم) از رابطه (۳) به دست می‌آید. در اینجا به دلیل ماهیت هزینه‌ای تمامی مقادیر، رابطه (۳) را می‌توان به‌صورت رابطه (۱۵) تعدیل کرد. در رابطه (۱۵)، تمامی مقادیر با علامت خود وارد محاسبات می‌شود.

$$f(T) = max\left[0, I - (V_{0_1} u^{x}{}_1 d^{n-x}{}_1 + V_{0_2} u^{x}{}_2 d^{n-x}{}_2)_T\right] \quad (۱۵)$$

طبق رابطه فوق، زمانی اعمال اختیار فسخ ارزشمند خواهد بود که مقدار I از مجموع هزینه‌های ناشی از عدم رفع نقص و ΔMV بزرگ‌تر باشد. مقدار I توسط مدیر پروژه برآورد شده است و به‌طور میانگین ۱۶/۴۵ واحد پولی می‌باشد. ارزش اعمال اختیار اختلاف مقدار I از مجموع مقادیر دو درخت است. درواقع شرکت به میزان این اختلاف هزینه کم‌تری را محتمل می‌شود و به همین دلیل اختیار فسخ ارزشمند خواهد بود. در گره‌هایی که میزان I کوچک‌تر از مجموع مقادیر دو درخت می‌باشد، ارزش اختیار فسخ صفر خواهد بود، یعنی شرکت با اعمال اختیار ارزشی کسب نخواهد کرد. مقادیر لایه آخر درخت ادغامی در جدول **(۴)** مشاهده می‌شود. اعداد کنار هر لایه برای نمایش گره است. پس هر گره را به‌صورت $(t, (n,n))$ نمایش داده‌شده ؛ به‌عنوان‌مثال گره ((۴،۵)، ۷) به معنی گره ردیف ۴ و ستون ۵ از لایه هفتم (آخر) بوده و مقدار آن برابر ۱۱/۳۸ است. برای درک بهتر نحوه محاسبه لایه‌های ماقبل آخر، اولین مقدار از لایه ششم را به‌صورت شکل **(۴)** و با استفاده از رابطه (۴) برآورد شده است. رابطه (۱۶) نحوه عددگذاری در رابطه (۴) را برای برآورد اولین مقدار لایه ششم نشان می‌دهد. در این رابطه نرخ بهره بدون ریسک ۲۰ درصد برابر با نرخ بهره بانکی در نظر گرفته‌شده است. مقادیر p_n از روابط (۵) تا (۸) برآورد می‌شود. در این روابط ازآنجاکه برآورد مقدار ضریب همبستگی با اطلاعات موجود امکان‌پذیر نیست، مقدار آن را صفر در نظر گرفته‌شده و در بخش تحلیل حساسیت، در بازه ممکن برای ضریب همبستگی یعنی بازه (۱،۱-)، حساسیت ارزش اختیار را بررسی گردیده است.

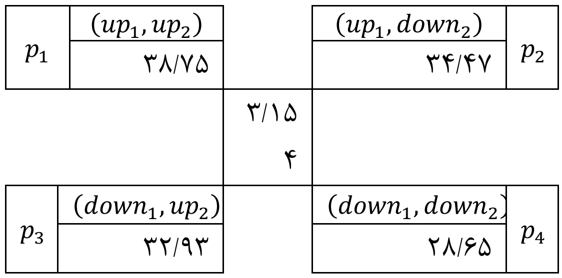
$$\begin{aligned} f(۶,(۱,۱)) = max\big[&(e^{-۲/۰\times ۲۵/۰}) \\ &\times (f(۷,(۱,۱)) \times ۴۸/۰ \\ &+ f(۷,(۱,۲)) \times ۱۵/۰ \\ &+ f(۷,(۲,۱)) \times ۳۵/۰ \\ &+ f(۷,(۲,۲)) \\ &\times ۰۲/۰)\big] = ۱۵/۳۴ \end{aligned} \quad (۱۶)$$

همچنین لازم به ذکر است، محاسبه مقادیر هر لایه تا رسیدن به لایه صفر ادامه می‌یابد. مقدار به‌دست‌آمده در لایه صفر ارزش اختیار می‌باشد. این مقدار برابر با ۱۶/۱ است که ارزش کنونی آن برابر ۱۵/۳۳ می‌باشد، چراکه باید سه ماه به عقب برگردد. حال با افزایش تعداد دوره‌ها مقدار بهینه آن را برآورد می‌کنیم. شکل **(۵)** برآورد مقدار بهینه ارزش با افزایش تعداد دوره‌ها را نمایش می‌دهد که مقدار آن در دوره ۲۸ تقریباً ثابت‌شده است و به ۱۲/۸۶ واحد

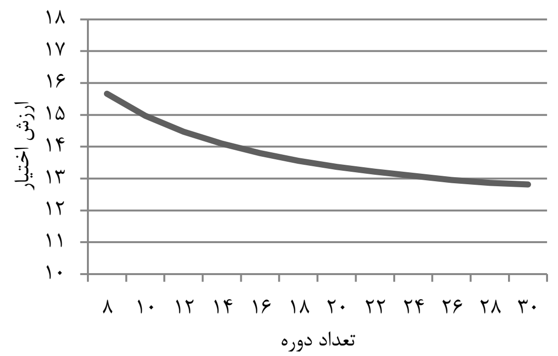
پولی رسیده است و ارزش کنونی ان ۱۲/۲۵ واحد پولی می‌باشد.

جدول (۴): لایه آخر درخت ادغامی

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۱	۳۸/۷۵	۳۴/۴۷	۳۰/۷۶	۲۷/۵۲	۲۴/۷۱	۲۲/۲۷	۲۰/۱۴	۱۸/۳
۲	۳۲/۹۳	۲۸/۶۵	۲۴/۹۳	۲۱/۷	۱۸/۸۹	۱۶/۴۵	۱۴/۳۲	۱۲/۴۸
۳	۲۸/۶۱	۲۴/۳۴	۲۰/۶۲	۱۷/۳۹	۱۴/۵۸	۱۲/۱۳	۱۰/۰۱	۸/۱۶
۴	۲۵/۴۲	۲۱/۱۴	۱۷/۴۳	۱۴/۱۹	۱۱/۳۸	۸/۹۴	۶/۸۱	۴/۹۷
۵	۲۳/۰۵	۱۸/۷۸	۱۵/۰۵۸	۱۱/۸۲	۹/۰۲	۶/۵۷	۴/۴۵	۲/۶
۶	۲۱/۳	۱۷/۰۲	۱۳/۳۱	۱۰/۰۷	۷/۲۶	۴/۸۲	۲/۶۹	۰/۸۵
۷	۲۰	۱۵/۷۲	۱۲/۰۱	۸/۷۷	۵/۹۶	۳/۵۲	۱/۴	۰
۸	۱۹/۰۴	۱۴/۷۶	۱۱/۰۴	۷/۸۱	۵	۲/۵۶	۰/۴۳	۰



شکل (۴): نمایش رابطه بین یک گره با گره‌های دوره بعد.



شکل (۵): نمایش بهینه‌سازی تعداد دوره‌ها

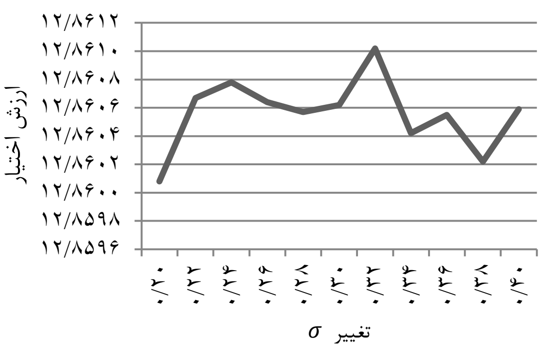
از سوی دیگر، در جدول ، مقدار ارزش کل پروژه برون‌سپاری نمایش داده‌شده است. مشاهده می‌شود که حدود ۱۲/۷۱ درصد ارزش کل پروژه مربوط به ارزش اختیار می‌شود و این مطلب ارزشمند بودن اختیار ترک را نمایش می‌دهد.

۵- تحلیل حساسیت

در این بخش در نظر داریم که حساسیت مقدار ارزش اختیار ترک را نسبت به σ مربوط درخت دوجمله‌ای اول (نوسان جریان‌های نقدی)، I، ρ و μ بررسی کنیم. شکل حساسیت ارزش اختیار را نسبت به مقدار σ مربوط به درخت دوجمله‌ای اول نمایش می‌دهد. همان‌طور که بیان شد مقدار تغییرپذیری بین ۲۰ درصد تا ۴۰ درصد می‌تواند تغییر کند. مشاهده می‌شود که ارزش اختیار با افزایش مقدار σ نوسان می‌کند. این نوسان حول مقداری ثابت است و مقدار آن بسیار کوچک می‌باشد.

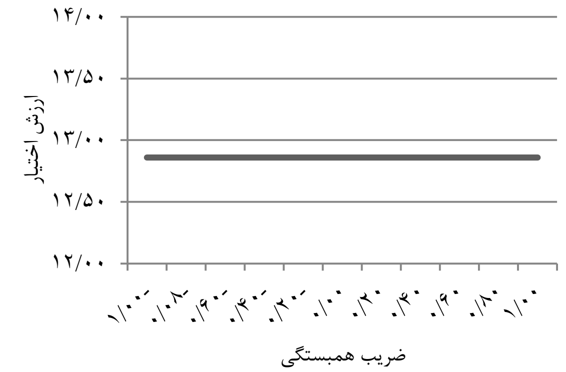
جدول (۵): نسبت ارزش اختیار به ارزش کل

	مقدار	نسبت به ارزش کل (درصد)
ارزش اختیار فسخ به دلیل قصور در حفظ و نگهداری پروژه (واحد پولی)	۱۲/۲۵	۱۲/۷۱
ارزش کنونی خالص طرح بدون ارزش اختیارها (واحد پولی)	۸۴/۱۴	۸۷/۲۹
ارزش کل (واحد پولی)	۹۶/۳۹	۱۰۰



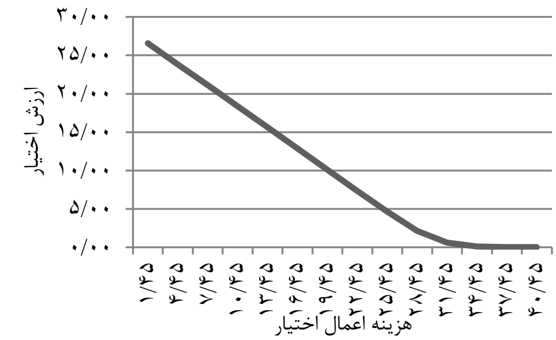
شکل (۶): نمایش میزان حساسیت ارزش اختیار به تغییرپذیری.

شکل (۷) حساسیت مقدار ارزش اختیار را به ρ نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود ارزش اختیار هیچ حساسیتی به تغییرات ρ ندارد.



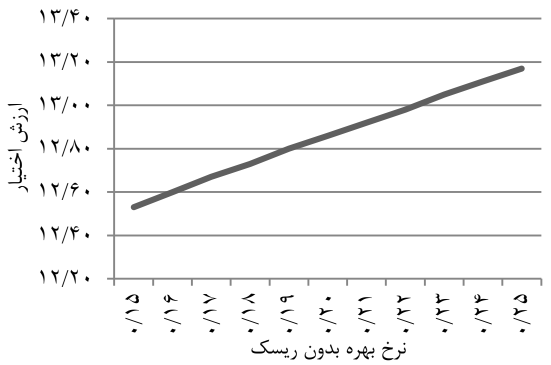
شکل (۷): حساسیت ارزش اختیار به ضریب همبستگی تغییرپذیری دو دارایی پایه.

شکل (۸) تغییرات ارزش را با افزایش مقدار I نمایش می‌دهد. مشاهده می‌شود این تغییرات چشم‌گیر است و با افزایش قیمت اعمال ارزش اختیار به صفر می‌رسد.



شکل (۸): نمایش میزان حساسیت ارزش اختیار به تغییرات قیمت اعمال اختیار.

درنهایت تغییرات ارزش اختیار نسبت به تغییرات μ در شکل **۹** نمایش داده‌شده است. همان‌طور که نمایان است با افزایش μ ارزش اختیار به‌صورت خطی افزایش می‌یابد.



شکل (۹): نمایش میزان حساسیت ارزش اختیار به نرخ بهره بدون ریسک.

۶- نتیجه‌گیری و پژوهش‌های آتی

در پژوهش حاضر، یک پروژه برون‌سپاری شرکت آب و فاضلاب مشهد به‌عنوان نمونه موردی در نظر گرفته شد. هدف این طرح کاهش هدررفت آب یک پهنه خاص به میزان یک‌سوم در طول دوره هفت‌ساله طرح و ضمن آن بهره‌برداری از پهنه می‌باشد. با توجه به دوره نسبتاً طولانی این پروژه، عدم قطعیت جریان‌های نقدی آن بالا است. علاوه بر این در طول پروژه شرکت آبفا با توجه به شرایط، انعطاف‌پذیری‌هایی در تصمیم‌گیری دارد که ارزش آن‌ها بر ارزش کل پروژه مؤثر می‌باشد. این مطالب استفاده از رویکرد اختیارهای حقیقی را برای تحلیل اقتصادی پروژه برون‌سپاری مذکور، الزامی می‌کند.

در این پژوهش نشان داده شد که ارزش اختیار با افزایش نرخ بهره بدون ریسک افزایش و با افزایش قیمت اعمال اختیار کاهش می‌یابد. این ارزش با افزایش تغییرپذیری جریان‌های نقدی نوسان می‌کند و نسبت به ضریب همبستگی بین تغییرپذیری دو دارایی پایه، بدون تغییر است. در این رابطه، ارزش کنونی خالص تصمیم برون‌سپاری طرح (بدون اعمال ارزش اختیارها)، یعنی از اختلاف ارزش برون‌سپاری و ارزش عدم برون‌سپاری، معادل ۸۴/۱۴ واحد پولی برآورد شد. همین‌طور، اختیار شناسایی‌شده در قرارداد پروژه مذکور، اختیار فسخ به دلیل قصور در حفظ و آمادگی پروژه می‌باشد. این اختیار از نوع اروپایی می‌باشد و تنها در انتهای سال دوم (تاریخ سررسید) قابل‌اعمال است که برای انجام این کار از تکنیک درخت دوجمله‌ای با دو دارایی پایه برای برآورد ارزش استفاده کردیم. اولین دارایی پایه، ارزش بازاری طرح و دیگری هزینه

ناشی از شرایط به وجود آمده برای اخذ اختیار می‌باشد که درنهایت بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، ارزش اختیار ترک برابر مقدار ۱۲/۲۵واحد پولی برآورد شد که ۱۲/۷۱ درصد ارزش کل پروژه (ارزش کل معادل ۹۶/۳۹ واحد پولی) را شامل می‌شود.

یکی از موارد که باید در قراردادهای برون‌سپاری در نظر گرفته شود، تعیین حجم فعالیت‌هایی است که برون‌سپاری می‌شود که به دلیل پیچیده شدن بیش‌ازحد مدل، به مسئله حاضر اضافه نشد و جزو محدودیت‌های کار تلقی می‌گردد. در پژوهش‌های آتی، محققین می‌توانند با توجه به این موضوع که درواقع شرکت کارفرما می‌تواند ابتدا حجمی مشخصی از فعالیت‌ها را به تأمین‌کننده واگذار کند و پس از اطمینان از عملکرد تأمین‌کننده، به واگذاری کل فعالیت‌های موردنظر بپردازد؛ موضوع را بسط داده و مسئله را به‌عنوان یک اختیار گسترش تعریف و ارزش‌گذاری کنند. این اختیار برای پروژه کاهش هدررفت، به دلیل هزینه‌های کلانی که برای پروژه‌های برون‌سپاری فعالیت‌ها می‌شود و با توجه به حجم بالای فعالیت‌ها و اقدامات برون‌سپاری شده در این طرح و همچنین اهمیت و ضرورت اجرای صحیح طرح در کاهش هدررفت آب و جنبه‌های زیست‌محیطی آن، ارزشمند می‌باشد.

همچنین، تولیدکنندگان بسیاری ترجیح می‌دهند که از بیش‌تر از یک تأمین‌کننده برای اجتناب از ریسک وابسته به استفاده از یک تأمین‌کننده خدمات منحصربه‌فرد، برای عقد قرارداد برون‌سپاری استفاده کنند. تمایل به این رویکرد در صنعت خدمات رو به افزایش است. ازاین‌رو، در پژوهش‌های آینده می‌توان از رویکرد اختیارهای حقیقی پیشنهادی برای انتخاب تأمین‌کنندگان بهینه استفاده نمود. در این رابطه، مقدار تغییرپذیری‌ها با رویکرد مناسب و دقیق قابل برآورد می‌باشد؛ چراکه در واقعیت زمان وقوع شرایط اخذ اختیار قطعی نیست و روش صحیح برای در نظر گرفتن این حالت احتمالی باید معین شود.

۷- مراجع

Alvarez, L. H. R., & Stenbacka, R. (2007). Partial outsourcing: A real options perspective. *International Journal of Industrial Organization, 25*(1), 91–102. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2006.01.003

Amani, P. (2004). General framework for risk assessment of outsourcing projects IT. In *International Conference on Project Management* (pp. 120–129).

Antelo, M., & Bru, L. (2010). Outsourcing or restructuring: The dynamic choice. *International Journal of Production Economics, 123*(1), 1–7. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.07.004

Arnold, T., Crack, T. F., & Schwartz, A. (2022). Embedding a net present value analysis into a binomial tree with a real option analysis. *Managerial and Decision Economics, 43*(7), 2924–2934.

Benaroch, M., Webster, S., & Kazaz, B. (2012). Impact of sourcing flexibility on the outsourcing of services under demand uncertainty. *European Journal of Operational Research, 219*(2), 272–283. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.12.007

Black, F., & Scholes, M. (2019). The pricing of options and corporate liabilities. In *World Scientific Reference on Contingent Claims Analysis in Corporate Finance* (pp. 3–21). World Scientific Publishing Company. DOI: https://doi.org/10.1142/9789814759588_0001

Boyle, P. P. (1977). Options: A Monte Carlo approach. *Journal of Financial Economics, 4*(3), 323–338. DOI: https://doi.org/10.1016/0304-405X(77)90005-8

Boyle, P. P., Evnine, J., & Gibbs, S. (1989). Numerical evaluation of multivariate contingent claims. *Review of Financial Studies, 2*(2), 241–250. DOI: https://doi.org/10.1093/rfs/2.2.241

Brandão, L. E., & Dyer, J. S. (2005). Decision analysis and real options: A discrete time approach to real option valuation. *Annals of Operations Research, 135*(1), 21–39. DOI: https://doi.org/10.1007/s10479-005-6233-9

Brosch, R. (2008). *Portfolios of real options*. Springer.

Cheng, J.-H., & Lee, C.-Y. (2007). Product outsourcing under uncertainty: An application of fuzzy real option approach. *2007 IEEE International Fuzzy Systems Conference*. DOI: https://doi.org/10.1109/FUZZY.2007.4295675

Choi, J. J., Ju, M., Trigeorgis, L., & Zhang, X. T. (2021). Outsourcing flexibility under financial constraints. *Journal of Corporate Finance, 67*, 101890. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2021.101890

Copeland, T. E., Antikarov, V., & Copeland, T. E. (2001). *Real options: A practitioner's guide*. Texere.

Cox, J. C., Ross, S. A., & Rubinstein, M. (1979). Option pricing: A simplified approach. *Journal of Financial Economics,* 7(3), 229–263. DOI: https://doi.org/10.1016/0304-405X(79)90015-1

Datta, S. (2005). Strategic outsourcing—A real option approach. In *Doctoral Symposium of Bristol Business School* (pp. 124–138).

Ellram, L. M., Tate, W. L., & Billington, C. (2008). Offshore outsourcing of professional services: A transaction cost economics perspective. *Journal of*

Economics, 129(1), 23–31. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.08.006

Mun, J. (2002). *Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions*. John Wiley & Sons.

Mun, J. (2003). *Real option analysis course: Business cases and software applications*. John Wiley and Sons.

Nembhard, H. B., Shi, L., & Aktan, M. (2003). A real options design for product outsourcing. *Engineering Economist, 48*(3), 199–217. DOI: https://doi.org/10.1080/00137910308965062

Olfat, L., & Barati, M. (2007). Module supply: Why & How? *Setting* priorities of modular outsourcing of Samand Body. *Quarterly of Management Sciences of Iran, 2*(6), 1–23.

Oskonejad, M. M. (1999). *Engineering economics or economic evaluation of industrial projects* (pp. 1–27).

Rajabzadeh, A., Rostamy, A. A. A., & Hosseini, A. (2008). Designing a generic model for outsourcing *process* in public sector: Evidence of Iran. *Management Decision, 46*(4), 521–538. DOI: https://doi.org/10.1108/00251740810865030

Smit, H. T., & Trigeorgis, L. (2004). *Strategic investment, real options and games*. Princeton University *Press*.

Tabrizi, A., & Shayeste, A. (2011). Evaluation and prioritization of outsourcing business processes and taxation INTA outsourcing with fuzzy TOPSIS approach. *Taxation Journal, 10*, 22–189.

Tian, N., Gan, J., & Lu, F. (2023). A real options model for evaluating a tree and mushroom vertical agroforestry system in Shandong, China. *Agroforestry Systems, 97*(2), 163–174.

Yeo, K. T., & Qiu, F. (2003). The value of management flexibility: A real option approach to investment evaluation. *International Journal of Project Management, 21*, 243–250.

Zekavat, M. (2009). Application of real option in survey investment projects. In *The second international conference on development financing system in Iran* (pp. 443–523).

Zhang, Z., Liao, R., & Zhou, Q. (2023). Contracting and timing for outsourcing of information system with uncertain requirements. *Neural Computing and Applications, 35*(3), 2279–2289. DOI: https://doi.org/10.1007/s00521-022-07355-6

Operations Management, 26(2), 148–163. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.02.008

Gao, Y., & Driouchi, T. (2018). Accounting for ambiguity and trust in partial outsourcing: A behavioral real options perspective. *Journal of Business Research, 92*, 93–104. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.06.012

Gartner, I. R. (2022). Binomial real options model with dynamic programming applied to the evaluation of railway infrastructure projects in Brazil. *Pesquisa Operacional, 42*, e260438.

Geske, R. (2019). The valuation of corporate liabilities as compound options. In *World Scientific Reference on Contingent Claims Analysis in Corporate Finance* (pp. 3–16). World Scientific Publishing Company. DOI: https://doi.org/10.1142/9789814759595_0001

Hui-yun, J., & Min-li, X. (2006). The value of production outsourcing: A real options perspective. *2006 International Conference on Management Science and Engineering*. DOI: https://doi.org/10.1109/ICMSE.2006.313968

Hull, J. C. (2023). *Fundamentals of* futures *and options markets, global edition* (8th ed.). Pearson Education.

Hutzschenreuter, T., Lewin, A. Y., & Ressler, W. (2011). The growth of white-collar offshoring: Germany and the US from 1980 to 2006. *European Management Journal, 29*(4), 245–259. DOI: https://doi.org/10.1016/j.emj.2011.02.002

Jiang, B., Yao, T., & Feng, B. (2008). Valuate outsourcing contracts from vendors' perspective: A real options approach. *Decision Sciences, 39*(3), 383–405. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00197.x

Kutlu, A. C. (2012). Outsourcing contracting strategies from supplier's side: A real option approach based on transaction costs. Procedia - *Social and Behavioral Sciences, 12*, 1601–1610.

Li, S., & Wang, L. (2010). Outsourcing and capacity planning in an uncertain global environment. *European Journal of Operational Research, 207*(1), 131–141. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.03.033

Mersin, D., & Polat, S. (2013). Evaluation of flexibilities in outsourcing agreements through the real option approach. *International Journal of Applied Management Science, 5*(2), 101. DOI: https://doi.org/10.1504/IJAMS.2013.053704

Moon, Y. (2010). Efforts and efficiency in partial outsourcing and investment timing strategy under market uncertainty. *Computers & Industrial* Engineering, *59*(1), 24–33. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cie.2010.02.010

Moon, Y., Yao, T., & Jiang, B. (2011). Outsourcing versus joint venture from vendor's perspective. International *Journal of Production*